

## Analisis Kecepatan dan Percepatan Gerak Robot Joules Menggunakan Metode Bilangan Kompleks

Novri Tanti, Ahmad Su'udi, Harry Gusty Nugroho

Jurusan Teknik Mesin-Universitas Lampung

E-mail: novri\_t@unila.ac.id

### Abstract

*In general, kinematics analysis is done using graphics methods. But this method requires a substantial time in analyzing the kinematics of a mechanical system. With the development of technology, especially in the field of computers and informatics can facilitate the engineer in analyzing the kinematics. One method used with the aid of a computer program is the method of complex numbers. This study aims to analyze and compare the position, velocity, and acceleration results of the calculation method of complex numbers and methods of polygon graphics. The study was conducted on a robotic mechanical system, i.e. electric tandem bicycle partner named Robot Joules. Necessary data were analyzed using the method of complex numbers with the help of MATLAB program. Results of analysis using the method of complex numbers were compared with the results of analysis using the method of polygon graphics. For comparison, data input were made equal to the angular velocity rod 2 ( $\omega_2$ ) of 10 rad/s and angular acceleration of rod 2 ( $\alpha_2$ ) at 0 rad/s<sup>2</sup> when bar 2 was at position angle 90 ° from the positive x-axis.*

**Key words:** kinematics, robot joules, complex numbers

### PENDAHULUAN

Analisis kinematika diperlukan dalam merancang suatu sistem mekanik. Hal ini dikarenakan kinematika merupakan salah satu faktor penting dalam perancangan dan pengoperasian suatu komponen mesin. Kecepatan dan percepatan suatu mekanisme akan mengalami perubahan, jika posisi mekanisme tersebut berubah. Oleh sebab itu sangat penting untuk mengetahui kecepatan dan percepatan suatu komponen dari suatu mekanisme untuk berbagai kedudukan dalam operasinya [1].

Robot Joules merupakan suatu sistem mekanik-elektrik yang ditujukan untuk mengayuh pedal sepeda berjenis *tandem*. Dalam penelitian ini dilakukan penyelesaian secara analisis teoritik dengan menggunakan metode bilangan kompleks untuk menganalisis posisi, kecepatan, dan percepatan mekanisme tersebut [2].

Metode bilangan kompleks adalah salah satu metode pada analisis numerik dalam penyelesaian persamaan diferensial. Metode bilangan kompleks merupakan salah satu cara analitis untuk menyatakan vektor posisi, kecepatan dan percepatan dalam bentuk bilangan kompleks [2,3]. Langkah pertama yang perlu dilakukan adalah menentukan vektor posisi dari titik-titik yang akan dianalisis, kemudian menentukan vektor kecepatan dan percepatan dengan cara diferensiasi terhadap waktu. Setelah itu dilakukan, maka dapat dibuat algoritma dan kemudian persamaan matematika yang dihasilkan dimasukkan dalam program komputer.

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 1. Kecepatan dan Percepatan Linier

Kecepatan didefinisikan sebagai laju perubahan perpindahan, atau jika perpindahan dipandang sebagai sebuah besaran vektor, maka kecepatan didefinisikan sebagai vektor laju perubahan perbandingan. Dengan bentuk yang sama, percepatan didefinisikan sebagai laju sesaat perubahan kecepatan, yang dapat dinyatakan dengan  $dv/dt$ , [4] yang dapat juga diinterpretasikan sebagai kemiringan kurva kecepatan – waktu. Karena  $ds/dt = v$ , dan  $dv/dt = a$ , maka bentuk yang ketiga dapat diturunkan untuk percepatan :

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d\left(\frac{ds}{dt}\right)}{dt} = \frac{d^2s}{dt^2} \quad (1)$$

#### 2. Kecepatan Sudut Dan Percepatan Sudut

Kecepatan sudut adalah laju perubahan sudut. Kecepatan sudut sering dikatakan sebagai kecepatan rotasi dan besaran skalarnya adalah laju rotasi. Kecepatan sudut biasanya dinyatakan oleh simbol omega ( $\Omega$  atau  $\omega$ ), dinyatakan dengan [5].

$$\omega = d\theta/dt \quad (2)$$

Percepatan sudut adalah laju perubahan kecepatan sudut terhadap waktu. Di dalam satuan SI, percepatan sudut diukur dalam radian per detik kuadrat (rad/s<sup>2</sup>), dan biasanya dilambangkan oleh abjad Yunani Alfa ( $\alpha$ ). Percepatan sudut dinyatakan dengan

$$\alpha = d\omega/dt \quad (3).$$

### 3. Kecepatan Relatif

#### Kecepatan satu titik yang bergerak melingkar terhadap satu titik tetap

Kecepatan suatu titik yang bergerak melingkar dengan kecepatan sudut konstan terhadap suatu titik tetap dapat dinyatakan dengan persamaan [6]:

$$\begin{aligned} V_B &= R\omega \sin \theta + R\omega \cos \theta \\ &= [(R\omega \sin \theta)^2 + (R\omega \cos \theta)^2]^{1/2} \\ &= R\omega \end{aligned} \quad (4)$$

Kecepatan titik  $B$  dalam arah-arah  $x$  dan  $y$  diberikan oleh

$$V_B^x = -R\omega \sin \theta \quad (5)$$

$$V_B^y = R\omega \cos \theta \quad (6)$$

Diferensiasi persamaan terhadap waktu, dan mengingat bahwa  $R$  adalah konstanta, memberikan :

$$\begin{aligned} \frac{dV_B^x}{dt} &= -R \left[ \omega (\cos \theta) \frac{d\theta}{dt} + (\sin \theta) \frac{d\omega}{dt} \right] \\ \frac{dV_B^y}{dt} &= R \left[ \omega (-\sin \theta) \frac{d\theta}{dt} + (\cos \theta) \frac{d\omega}{dt} \right] \end{aligned}$$

Sehingga persamaan di atas menjadi :

$$A_B^x = -R\omega^2 \cos \theta - R\alpha \sin \theta \quad (7)$$

$$A_B^y = -R\omega^2 \sin \theta + R\alpha \cos \theta \quad (8)$$

Percepatan total titik  $B$  dapat dinyatakan dengan

$$A_B = R\omega^2 + R\alpha \quad (9)$$

Di mana  $R\omega^2$  disebut komponen percepatan normal atau radial dan  $R\alpha$  disebut komponen percepatan tangensial. Karena komponen-komponen persamaan (9) saling tegak lurus satu dengan lainnya, maka  $A_B$  dapat dinyatakan sebagai [7].

$$A_B = [(R\omega^2)^2 + (R\alpha)^2]^{1/2} \quad (10)$$

#### Percepatan relatif dua titik pada satu penghubung kaku

Kecepatan titik  $B$  dalam arah-arah  $x$  dan  $y$ , pada Gambar 1, adalah:

$$\begin{aligned} V_B^x &= V_A^x - R\omega \sin \theta \\ V_B^y &= V_A^y + R\omega \cos \theta \end{aligned} \quad (11)$$

Karena  $dV_B^x/dt$  didefinisikan sebagai percepatan titik  $B$  dalam arah  $x$ , yakni  $A_B^x$ ;  $dV_A^x/dt$  adalah percepatan titik  $A$  dalam arah  $x$ ,  $A_A^x$  demikian pula,

$dV_B^y/dt$  adalah  $A_B^y$ ; dan  $dV_A^y/dt$  adalah  $A_A^y$ . Maka persamaan dapat dituliskan kembali menjadi

$$A_B^x = A_A^x - R\omega^2 \cos \theta - R\alpha \sin \theta \quad (12)$$

$$A_B^y = A_A^y - R\omega^2 \sin \theta + R\alpha \cos \theta \quad (13)$$

Percepatan total  $B$ ,  $A_B$ , diperoleh dengan penjumlahan kedua komponen tegak lurus:

$$\begin{aligned} A_B &= A_B^x + A_B^y \\ A_B &= (A_A^x + A_A^y) + (R\omega^2 \cos \theta + R\omega^2 \sin \theta) + (R\alpha \cos \theta + R\alpha \sin \theta) \quad (14) \end{aligned}$$

Sehingga, percepatan titik  $B$  dapat dinyatakan dengan

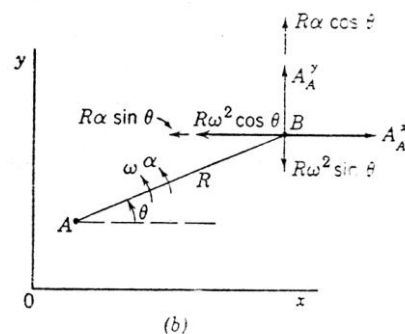
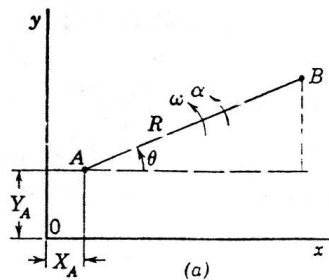
$$A_B = A_A + R\omega^2 + R\alpha \quad (15)$$

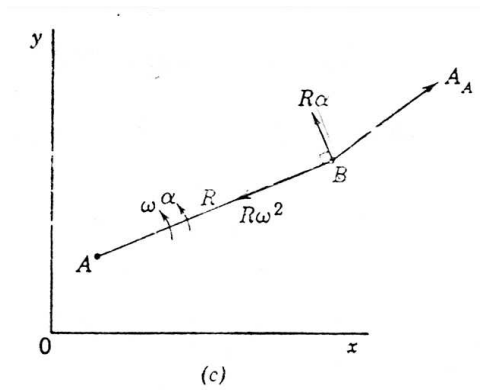
Gambar 1c memperlihatkan vektor-vektor dalam posisinya. Dengan mencatat bahwa:

$$\begin{aligned} \omega &= V_{BA}/BA \quad \text{dan} \\ R\omega^2 &= (BA) (V_{BA}/BA)^2 = V_{BA}^2/BA \end{aligned}$$

dapat dinyatakan persamaan  $A_B$  dalam cara yang berbeda:

$$A_B = A_A + \frac{V_{BA}^2}{BA} + BA\alpha \quad (16)$$

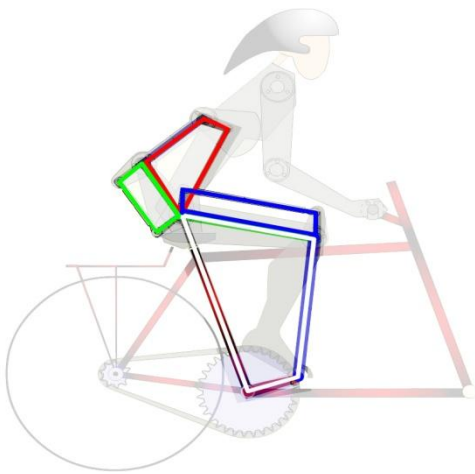




Gambar 1. Percepatan satu titik pada satu penghubung dalam gerak bidang [5]

## METODOLOGI

Mekanisme yang akan dianalisis dalam penelitian ini adalah sistem mekanik batang-batang pada robot *electric tandem bicycle partner*, seperti yang terlihat pada Gambar 2.

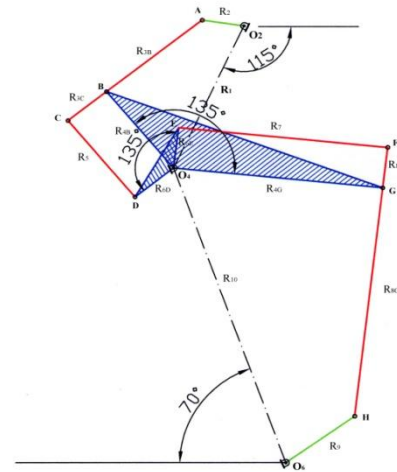


Gambar 2. Robot Joules [5]

Secara dasar, mekanisme pada robot Joules menggunakan prinsip mekanisme empat batang penghubung. Gabungan batang penghubung 1, 2, 3, dan 4 membentuk suatu mekanisme empat penghubung I (pertama), dapat dilihat pada Gambar 2 yang diberi garis merah. Gabungan batang penghubung 4, 8, 9, dan 10 membentuk mekanisme empat penghubung II (kedua), yang ditunjukkan dengan garis berwarna putih. Sedangkan untuk batang yang diberi garis berwarna hijau dan biru merupakan batang pelengkap pada mekanisme robot tersebut

## Mekanisme Kinematis Robot Joules

Berikut ini adalah mekanisme kinematis dari mekanisme Robot Joules.



Gambar 3. Mekanisme Kinematis Robot Joules [5]

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Jendela Utama

Jendela utama program ini diberi nama *simulation* (Gambar 4). Jendela utama ini terdiri dari 3 bagian, yaitu input data, hasil dan grafik.



Gambar 4. Jendela utama program [5]

*Input data* merupakan bagian dari jendela utama program yang sangat penting. Agar program dapat berjalan sebagaimana mestinya, dibutuhkan data masukan yang diperoleh dari *input data* ini. Apabila semua *input* sudah lengkap, penghitungan dapat dilakukan dengan menekan tombol *Proceed*.

### Hasil

Setelah tombol *Proceed* di-*click* maka data hasil penghitungan oleh program ditampilkan pada bagian kedua ini. Informasi yang ditampilkan berupa

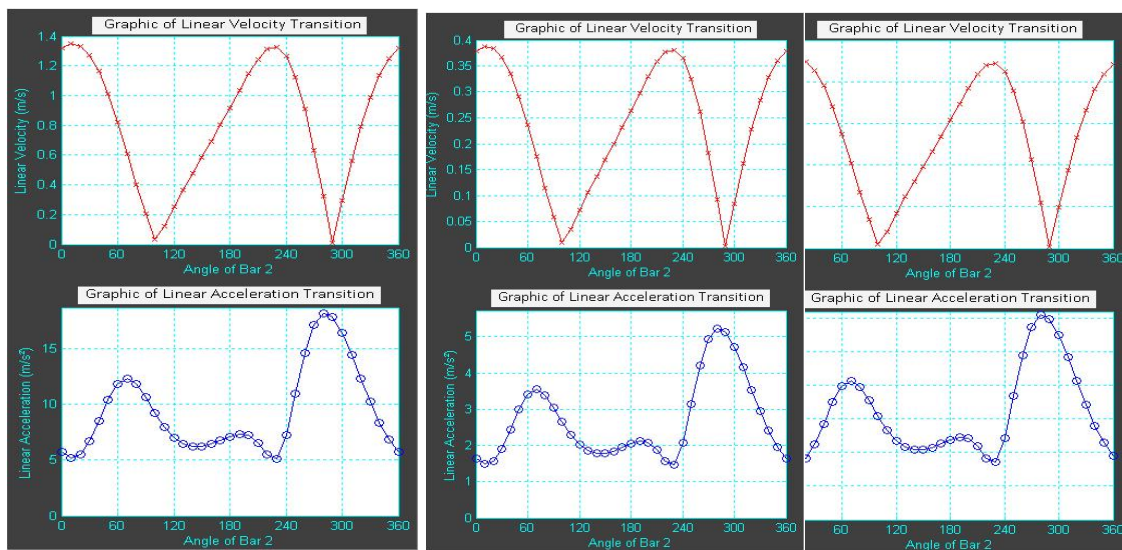
tabel yang mencakup tiga hal penting dalam analisis kinematika, yaitu sudut atau posisi, kecepatan linear, dan percepatan linear. Ketiga data yang ditampilkan tersebut merupakan nilai yang dihasilkan pada berbagai posisi dari batang 2 saat melakukan satu putaran penuh atau 360 derajat

perubahan kecepatan dan grafik perubahan percepatan pada berbagai sudut batang 2 saat melakukan satu putaran penuh.

Dilihat dari bentuk grafiknya, ada kesamaan bentuk grafik antara batang 3, batang 6, dan batang 8, seperti terlihat pada Gambar 5.

### Graphic of transition

Bagian yang terakhir ini menampilkan data dari hasil keluaran pada *output data table* dalam bentuk grafik. Grafik yang ditampilkan yaitu grafik

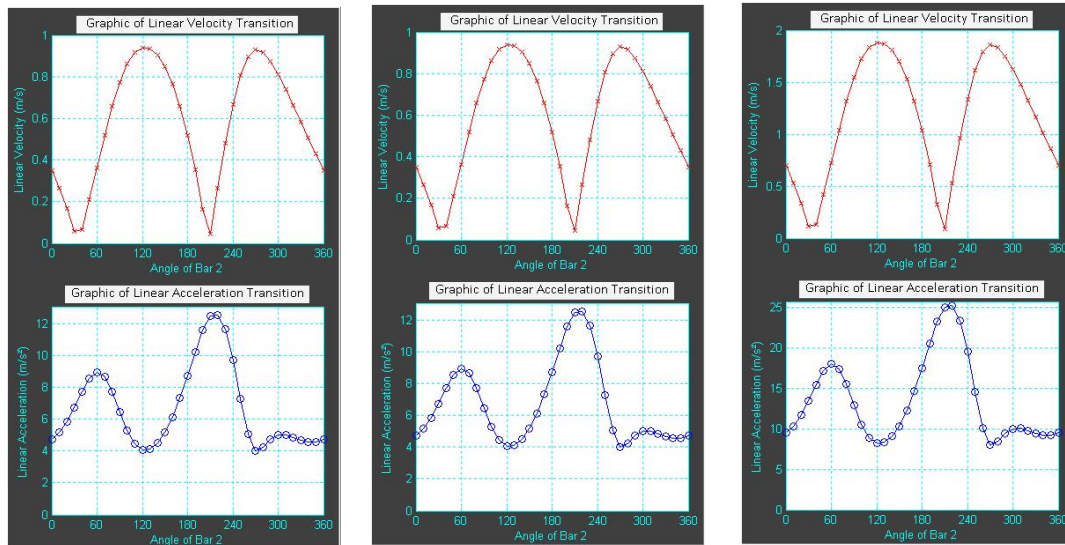


Gambar 5. Grafik kecepatan dan percepatan batang 3, batang 6, dan batang 8 [5]

Pada Gambar 5, bentuk grafik kecepatan linier dan percepatan linier untuk batang 3, batang 6, dan batang 8 menyerupai satu sama lainnya. Yang membedakannya hanyalah interval angka pada sumbu y-nya yang dikarenakan panjang masing-masing batang berbeda. Kecepatan maksimum pada batang 3, 6, dan 8 dicapai pada saat batang 2 pada posisi sudut  $10^\circ$  dan  $230^\circ$ , dan untuk percepatan

maksimalnya dicapai pada saat batang 2 berada pada posisi  $280^\circ$  [8,9]

Selain itu, ada juga tiga batang lain yang memiliki bentuk grafik yang sama, yaitu batang 4, batang 5, dan batang 7. Berikut ini adalah bentuk grafik masing-masing batang yang ditampilkan pada program.



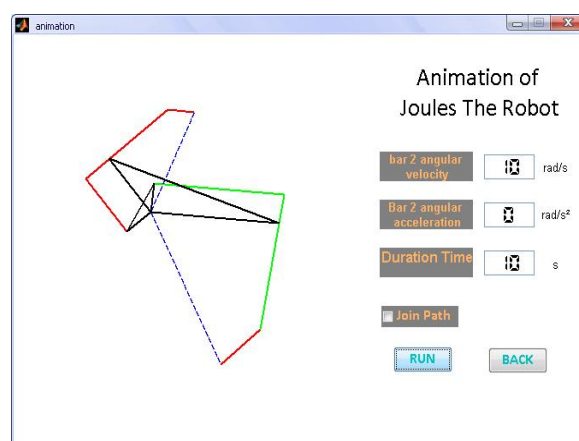
Gambar 6. Grafik kecepatan dan percepatan batang 4, batang 5, dan batang 7 [5]

Adanya kesamaan bentuk grafik dari batang-batang tersebut dikarenakan ketiganya memiliki kecepatan sudut dan percepatan sudut yang sama. Nilai kecepatan sudut dan percepatan sudut yang sama pada beberapa batang dikarenakan ukuran dan posisi batang dirancang agar menghasilkan perubahan sudut yang sama pula. Batang-batang tersebut dirancang berukuran sama dengan batang yang berada didepannya dan sudut yang berhadapan juga dibuat sama. Dengan demikian, nilai kecepatan sudut dan percepatan sudutnya pun akan sama pula dalam setiap posisi gerakannya pada batang-batang tersebut [10].

Batang 9 merupakan satu-satunya batang yang melakukan satu putaran penuh atau  $360^\circ$  selain

batang 2 pada mekanisme robot joules ini. Dari analisis yang dilakukan, nilai kecepatan sudut batang 9 sama dengan besarnya kecepatan sudut dari batang 2 yaitu  $10 \text{ rad/s}$ . Begitu juga dengan percepatan sudutnya yang sama besar yaitu 0. Dari hasil analisis secara grafis maupun komputasi, besarnya percepatan sudut batang dua amat sangat kecil, sehingga bisa dikatakan tidak ada percepatan sudut untuk setiap perubahan posisinya [11, 12].

Animasi gerak sederhana dari robot ini juga dapat dilihat dengan meng-*click* tombol *show animation*. Tampilan animasinya dapat dilihat pada Gambar 7 berikut ini.



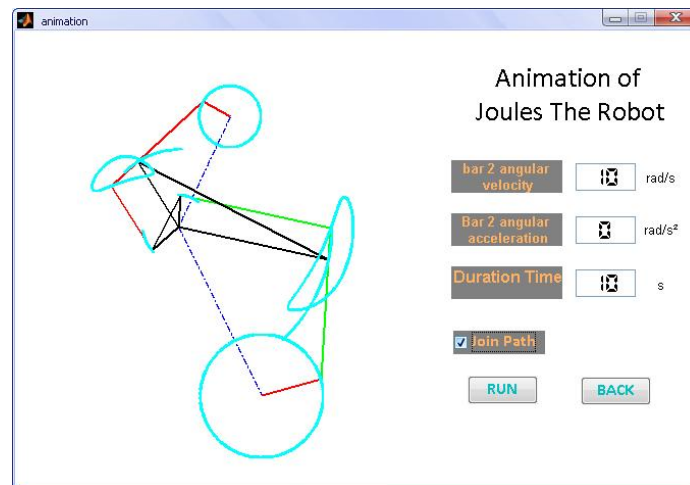
Gambar 7. Tampilan jendela *animation* [5]

Dalam tampilan ini dimasukkan beberapa input sebelum menjalankan animasi. Data masukan

tersebut yaitu kecepatan sudut batang 2 ( $\omega_2$ ), percepatan sudut batang 2 ( $\alpha_2$ ), dan waktu durasi

selama animasi berjalan. Sebagai pilihan, pada animasi juga ditambahkan tampilan lintasan persendian antar batang dengan memberi tanda “v”

pada *check box* “join path”, sehingga tampilannya akan terlihat seperti pada Gambar 8.



Gambar 8. Tampilan animasi dengan *join path* [5].

## KESIMPULAN DAN SARAN

Dari penelitian yang telah dilakukan, maka diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Analisis Kecepatan dan Percepatan pada mekanisme robot Joules secara komputasi dengan menggunakan metode bilangan kompleks, dapat diketahui kecepatan dan percepatan batang-batang yang lainnya untuk setiap perubahan posisi batang dua.
2. Perhitungan secara komputasi lebih cepat dan efisien dibandingkan dengan metode grafis, karena dengan metode komputasi dapat langsung diketahui analisis untuk setiap posisi, sedangkan pada metode grafis atau poligon vektor harus dilakukan berulang kali untuk posisi yang berbeda.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Gunadi A., 2006, *The shortcut of MATLAB Programming*, INFORMATIKA. Bandung.
- [2] Holowenko, 1955, *Dynamics of Machinery*, John Wiley & Sons Inc. USA.
- [3] Kimbrell, J.T., 1991, *Kinematics analysis and synthesis*, McGraw-Hill Book Co. Singapore.
- [4] Marghitu, D.B., 2009, *Mechanisms and Robots Analysis with MATLAB*, Springer Dordrecht Heidelberg. London.
- [5] Morgan, C., 2009, *Joules The Robot*. [http://www.rainyisland.org/joules/Joules\\_Home\\_Page.html](http://www.rainyisland.org/joules/Joules_Home_Page.html).
- [6] Pinem, M.D., 2008, *AutoCAD 2 Dimensi & 3 Dimensi*, INFORMATIKA, Bandung
- [7] Prapto, C., 1985, *Dinamika Permesinan*, Erlangga. Jakarta.
- [8] Soegiharjo, O., 2002, “*Analisis Perpindahan (displacement) dan kecepatan sudut (angular velocity) Mekanisme Empat Batang Secara Analitik dengan Bantuan Komputer*”, Jurnal Teknik Mesin Universitas Kristen Petra, Surabaya
- [9] Suharto, Djoko dan Kemas, R., 2000, *Analisis Kinematika dengan Bantuan Komputer*, Jurusan Teknik Mesin-ITB. Bandung
- [10] Sulityo, Erwin dan Endi, S., 2003, *Diktat Kinematika Program Semi Que IV*, Fakultas Teknik Jurusan Mesin Universitas Brawijaya, Malang.
- [11] Waldron, Kenneth J. and Gary L. K., 1999, *Kinematics, dynamics, and design of machinery*, John Wiley & Sons Inc. USA
- [12] Waldron, Kenneth J. and Gary L. K., 1999, *MATLAB Programs for Textbook: Kinematics, dynamics, and design of machinery*, John Wiley & Sons Inc. USA.